

Qualitätssicherung im Schlauchlining – Details, die den Unterschied machen

Materialprüfung | Kennwertebewertung | Reststyrolanteil

23. Deutscher Schlauchlinertag

Fulda | 16. September 2025

Dr.-Ing. Mark Kopietz | SBKS GmbH

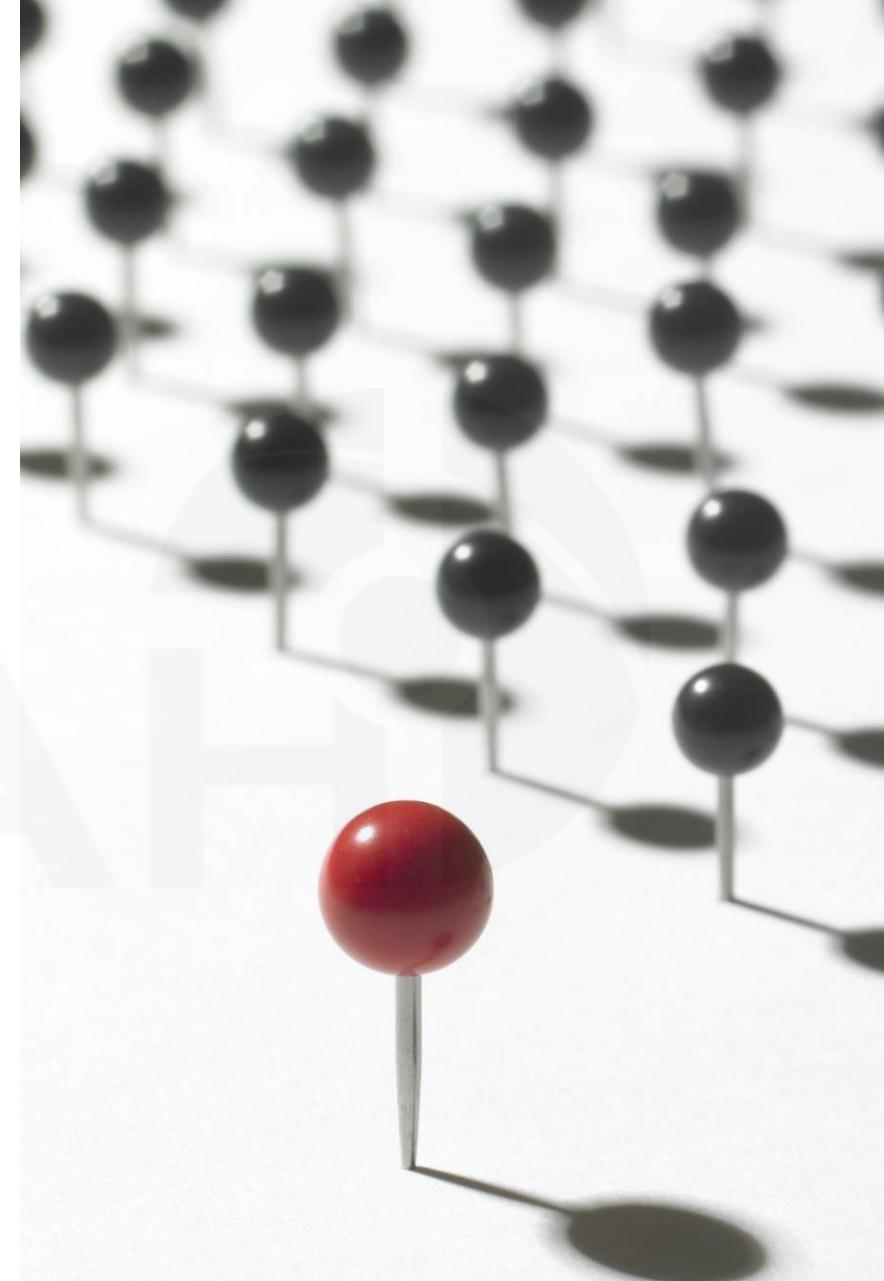


Motivation

**Schlauchliner härten vor Ort –
Qualitätsurteil erst nach erfolgter Aushärtung möglich!**

Warum Thema „Reststyrol“?

- Massenmarkt: styrolhaltige Harze » hohes Brancheninteresse
- Wiederholt aufkommende Diskussionen, z. B. zu Grenzwerten
- Berufung auf “branchenfremde” Quellen
- Fehlende Empirik, Datenbasis und Evaluationen



Agenda



Qualitätssicherung im Schlauchlining

Warum Qualitätssicherung im Schlauchlining?

„Qualität ist der Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale Anforderungen erfüllt.“ – ISO 9001

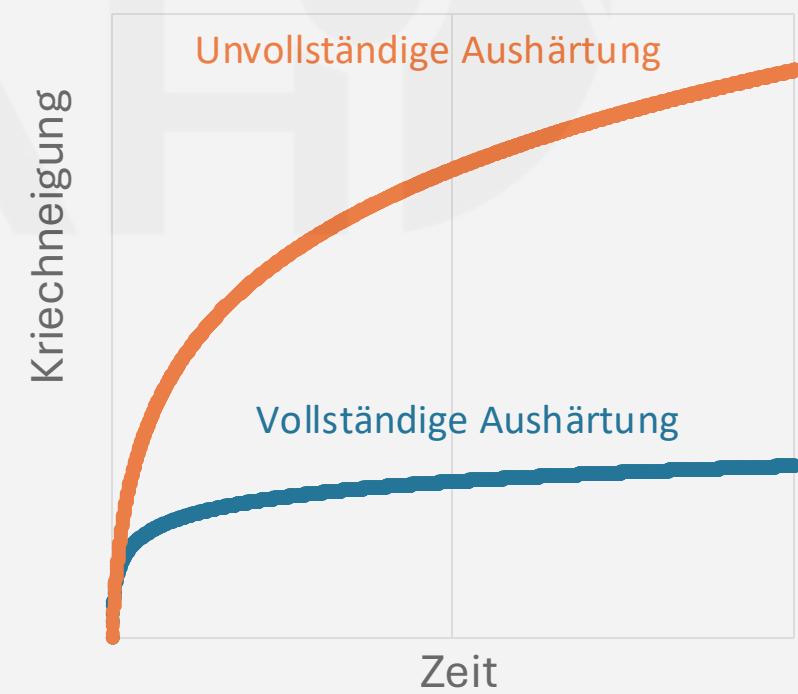
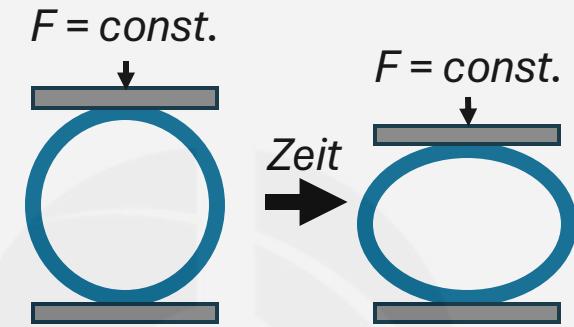
- Eignungsnachweis (z. B. abZ oder AoC) definiert ständige Eigenschaften (qualitativer oder quantitativer Natur). **Qualitätssicherung dient dem Konformitätsnachweis.**
- Schlauchliner werden als „unfertiges“ Halbzeug verbaut, finales Eigenschaftsprofil entsteht durch **vor Ort stattfindende Aushärtung**.
- **Materialeigenschaften** wie Langzeit-Kriechverhalten und Medienbeständigkeit **abhängig von Vernetzungsgrad**.



Warum Qualitätssicherung im Schlauchlining? – Kriechverhalten

Kriechen – Deformation unter konstanter Spannung

- Jeder Werkstoff kriecht –
aber: bei Duroplasten abhängig von der chemischen Vernetzung.
- Festlegung von Kurz- (24 h) und Langzeitkennwerten (10.000 h bzw. 50 a)
bei Typprüfung.
- Erhöhtes Kriechen von Baustellenproben führt (möglicherweise) zu
Ungültigkeit der Langzeitkennwerte (Abminderungsfaktors A1) und
zugrunde gelegter Statik.

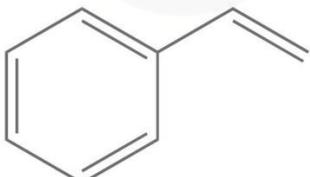


Styrol in GFK-Linern

Styrol in GFK-Linern

Grundlagen

- GFK-Schlauchliner aus (ECR-)Glas, Harz und sonstigen Füllstoffen.
- Glasanteil ist festgelegt, daraus ergibt sich der zulässige Harzanteil.
- Normative UP- und VE-Harze beschränkt auf max. 50 bzw. 55 % monomeres Styrol im Harz (u. a. DIN 18820-1, DIN EN 13121-1).
- Styrol dient als Reaktivverdünner und Quervernetzer.



Summenformel C₈H₈
CAS Nr. 100-42-5
Molare Masse 104,15 g/mol
Dichte 0,9 g/cm³
Siedepunkt 145 °C
Viskosität 0,7 mPa·s

DIN 18820 Teil 1 Seite 3

Tabelle 1. Einteilung der Reaktionsharze

Gruppe ¹⁾	Reaktions- harzart	Glykole (Diole)	Säuren	Maximaler Styrol- Massenanteil
0	UP	Standardglykole ²⁾	Orthophthalsäure Ethylenedicarbonsäuren	45%
1	UP	Standardglykole ²⁾	Orthophthalsäure Ethylenedicarbonsäuren	45%
2	UP	Standardglykole ²⁾	ausschließlich Isophthalsäure und/oder Terephthalsäure Ethylenedicarbonsäuren	50%
3	UP	Neopentylglykol (mindestens 80 % molarer Anteil), maximal 20 % molarer Anteil ³⁾ eines Diols mit mindestens einer sekundären OH-Gruppe	ausschließlich entweder Orthophthalsäure oder Isophthalsäure und Terephthalsäure und HET-Säure Ethylenedicarbonsäuren	50%
4	UP	Bis(hydroxymethyl)-tricyclooctan	Orthophthalsäure Ethylenedicarbonsäure	50%
5	PHA	Bisphenol A-bis (1,2-dihydroxypropyl)-ether Novolack	Acryl- und Methacrylsäure ⁴⁾	50%
6	UP	Perhydrobisphenol A Diethoxybisphenol A Dipropoxybisphenol A (mindestens 90 % molarer Anteil)	Ethylenedicarbonsäuren	55%

¹⁾ Harze der Gruppen 1 bis 4 und 6 müssen vom Typ 1130 oder 1140 nach DIN 16946 Teil 2 sein. Harze der Gruppe 0 müssen mindestens vom Typ 1110 nach DIN 16946 Teil 2 sein. Harze der Gruppe 5 müssen vom Typ 1310 und 1330 nach DIN 16946 Teil 2 sein.

²⁾ Dazu gehören: Ethylen-, 1,2-Propylen-, Diethylen- und Dipropylene glykol, Butandiol 1,3 und Butandiol 1,4.

³⁾ Bezogen auf die Summe der Diolkomponenten

⁴⁾ Sogenannte Vinylesterharze

Styrol in GFK-Linern Radikalische Polymerisation

i. Initiatordissoziation (z. B. UV-Licht, Wärme)



ii. Kettenstart



iii. Kettenwachstum



iv. Kettenabbruch

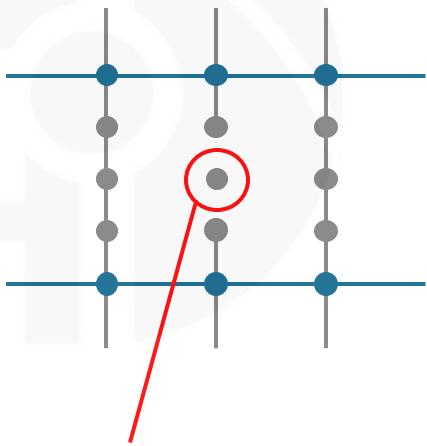


UP-/VE-Copolymer



Styrol

$h \cdot v / \Delta T$



ungebundenes Styrol = Reststyrol

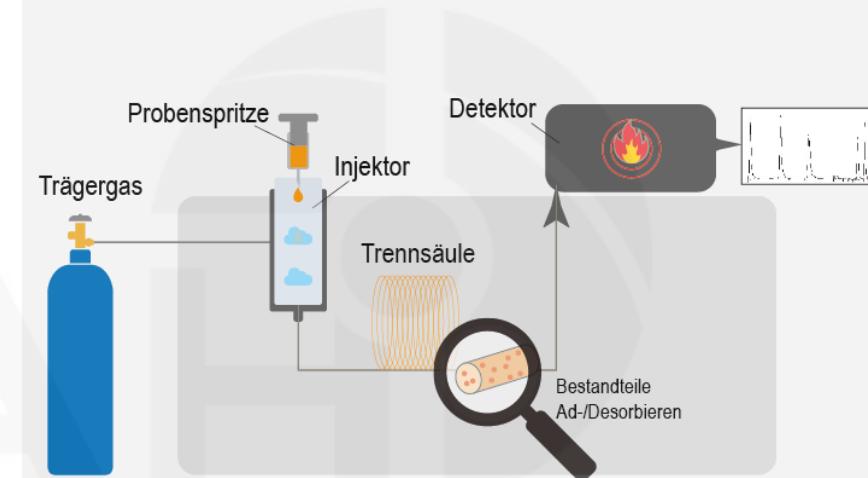
Styrol in GFK-Linern

Messmethodik

Normierte Messmethode (DIN 53394-2, ISO 4901)

- Entnahme einer definierten Probenmenge über gesamten Querschnitt.
- Eluieren der zerkleinerten Probe in Lösungsmittel (>16 h).
- Gaschromatographisches Auftrennen des Lösungsmittel-Styrol-Gemisches und Quantifizieren der Restmonomeranteils mittel internen Standard bekannter Konzentration.

➤ **Bezugnahme auf Gesamt-Probeneinwaage des GFK-Laminats (!)**



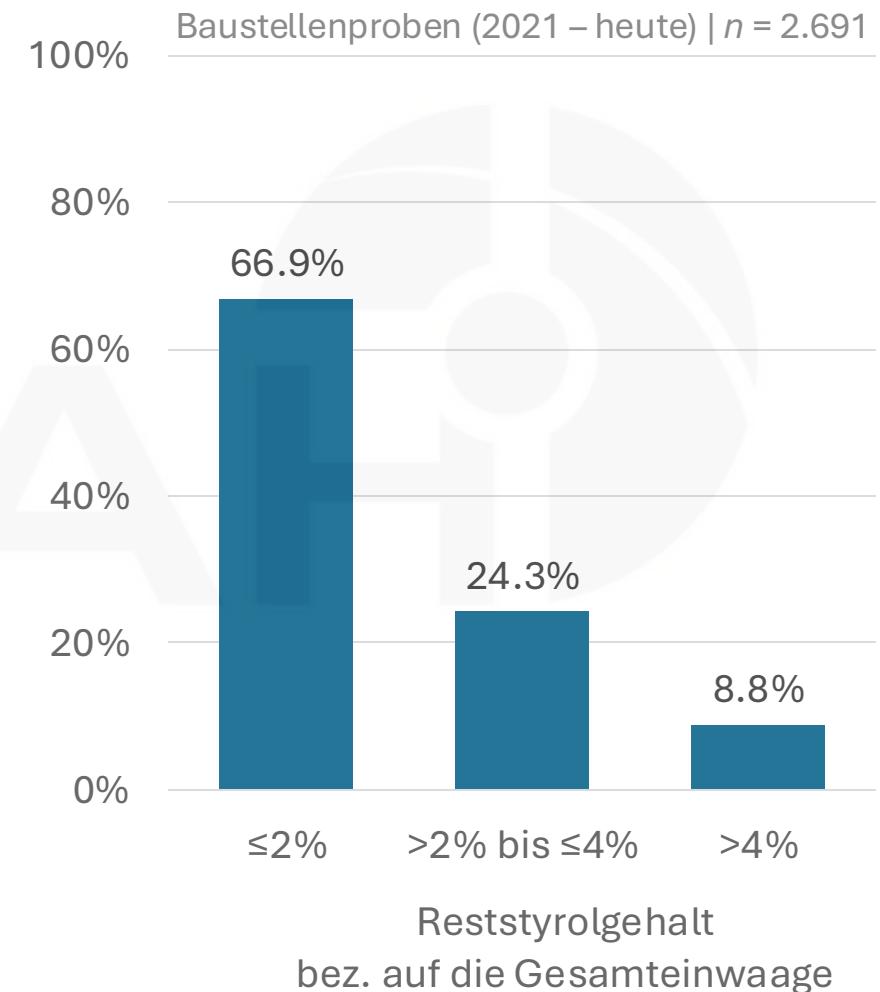
Prinzip der Gaschromatographie (vereinfachtes Schema)

Quelle: <https://de.oeleck.com/wiki/gaschromatographen/#&gid=1&pid=2>

Styrol in GFK-Linern

Status Quo

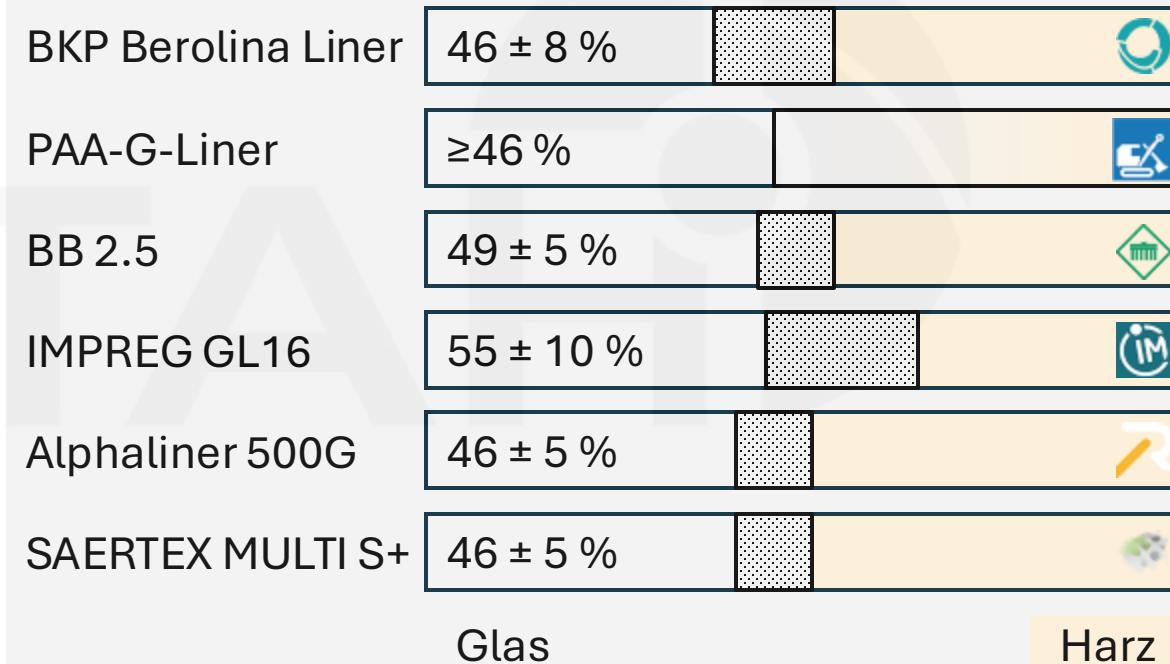
- Neben physikalischen-mechanischen Prüfungen dient der Reststyrolgehalt als chemischer Aushärtenachweis.
- Aktuelle Grenzwerte (bezogen auf die Gesamteinwaage):
 - ≤4 %** (DWA-M 144-3:2016, langjährig marktetabliert) bzw.
 - ≤2 %** (DIBt seit 2023, QUIK (CH), diverse Kommunen)



Reststyrolanalytik – Der Blick hinter die Kulissen

Glasanteil in zugelassenen Systemen

- Unterschiedliche Verstärkungsarchitekturen führen zu variierenden Faservolumengehalten (Glasanteilen).
- AbZ definiert den Glasanteil inkl. Toleranzbereich ($x_{\text{Harz}} \approx 100\% - x_{\text{Glas}}$)
- **Nur das Harz kann ungebundenes Styrol enthalten!**



Schwankender Styrolanteil in Schlauchlinerproben



An zunehmend fehlende
Kontrollen des initialen
Styrolgehaltes im Harz bei
Anlieferung bzw.
Linerproduktion



Baustellenproben in den
seltensten Fällen
„Punktlandung“ hinsichtlich
produktseitig definierten
Glas-/Harz-Verhältnis



Lagerbedingungen, Kalibrier-
prozess, Probenahmestelle
uvm. haben Einfluss auf den
Harz- und damit Styrolanteil
im Probestück

Einfluss unterschiedlicher Harzanteile auf den Reststyrolgehalt

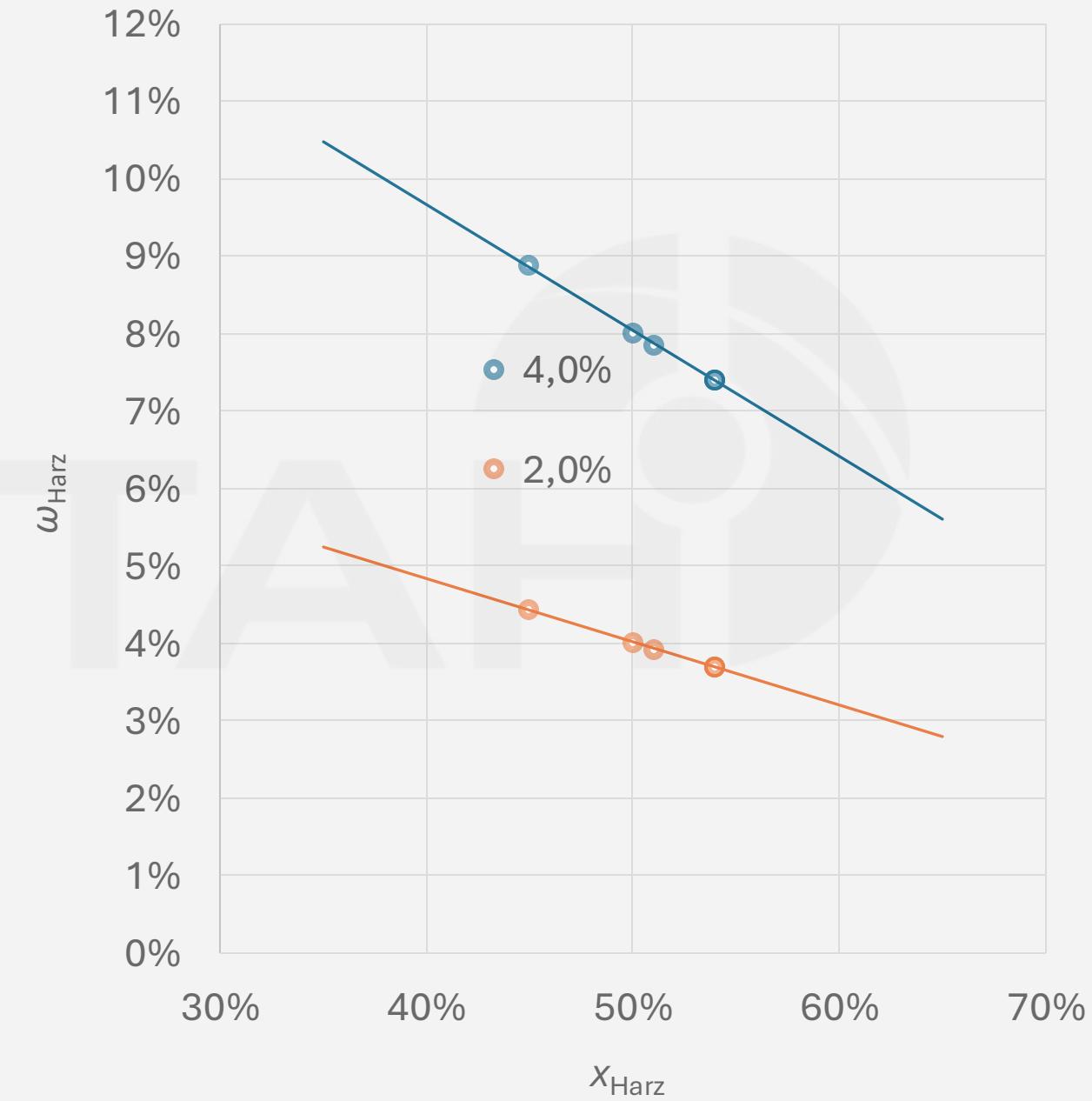
- Rechnerische Korrektur des Gesamteinwaage-bezogenen Reststyrolgehaltes (ω_{Laminat}) auf den Harzanteil (x_{Harz})

$$\omega_{\text{Harz}} = \frac{\omega_{\text{Laminat}}}{x_{\text{Harz}}}$$

Zulassung	x_{Glas}	x_{Harz}	\pm	ω_{Harz}	
				ω_{Laminat}	2%
BKP Berolina Liner	46%	54%	$\pm 8 \%$	3,70%	7,41%
PAA-G-Liner	46%	54%	\geq	3,70%	7,41%
BB 2.5	49%	51%	$\pm 5 \%$	3,92%	7,84%
iMPREG-Liner GL16	55%	45%	$\pm 10 \%$	4,44%	8,89%
Alphaliner 500G	46%	54%	$\pm 5 \%$	3,70%	7,41%
SAERTEX S+	46%	54%	$\pm 5 \%$	3,70%	7,41%
$\Delta_{\text{min/max}}$				0,74%	1,48%

Einfluss unterschiedlicher Harzanteile auf den Reststyrolgehalt

- Je niedriger der Harzanteil im Laminat (x_{Harz}), desto höher der harzbezogene Styrolgehalt (ω_{Harz}), um fixe Grenzwerte unter Bezug auf die Gesamteinwaage einzuhalten.



Einfluss unterschiedlicher Harzanteile auf den Reststyrolgehalt

- Berechnung der Minima und Maxima anhand der Systemgrenzen für x_{Glas}

$$\omega_{\text{Harz}} = \frac{\omega_{\text{Laminat}}}{x_{\text{Harz}}}$$

	$x_{\text{Glas},\text{max}}$	$x_{\text{Glas},\text{min}}$	$x_{\text{Harz},\text{max}}$	$x_{\text{Harz},\text{min}}$	$\omega_{\text{Harz},\text{min}}$	$\omega_{\text{Harz},\text{max}}$	$\omega_{\text{Harz},\text{min}}$	$\omega_{\text{Harz},\text{max}}$
	ω_{Laminat}				2%		4%	
BKP Berolina Liner	54%	38%	62%	46%	3,23%	4,35%	6,45%	8,70%
PAA-G-Liner	-	46%	54%	-	3,70%	-	7,41%	-
BB 2.5	54%	44%	56%	46%	3,57%	4,35%	7,14%	8,70%
iMPREG-Liner GL16	65%	45%	55%	35%	3,64%	5,71%	7,27%	11,43%
Alphaliner 500G	51%	41%	59%	49%	3,39%	4,08%	6,78%	8,16%
SAERTEX S+	51%	41%	59%	49%	3,39%	4,08%	6,78%	8,16%
$\Delta_{\text{min/max}}$					0,48%	1,63%	0,96%	3,27%
$\Delta_{\text{min/max}}$					2,49%		4,98%	

Einfluss unterschiedlicher Harzanteile auf den Reststyrolgehalt

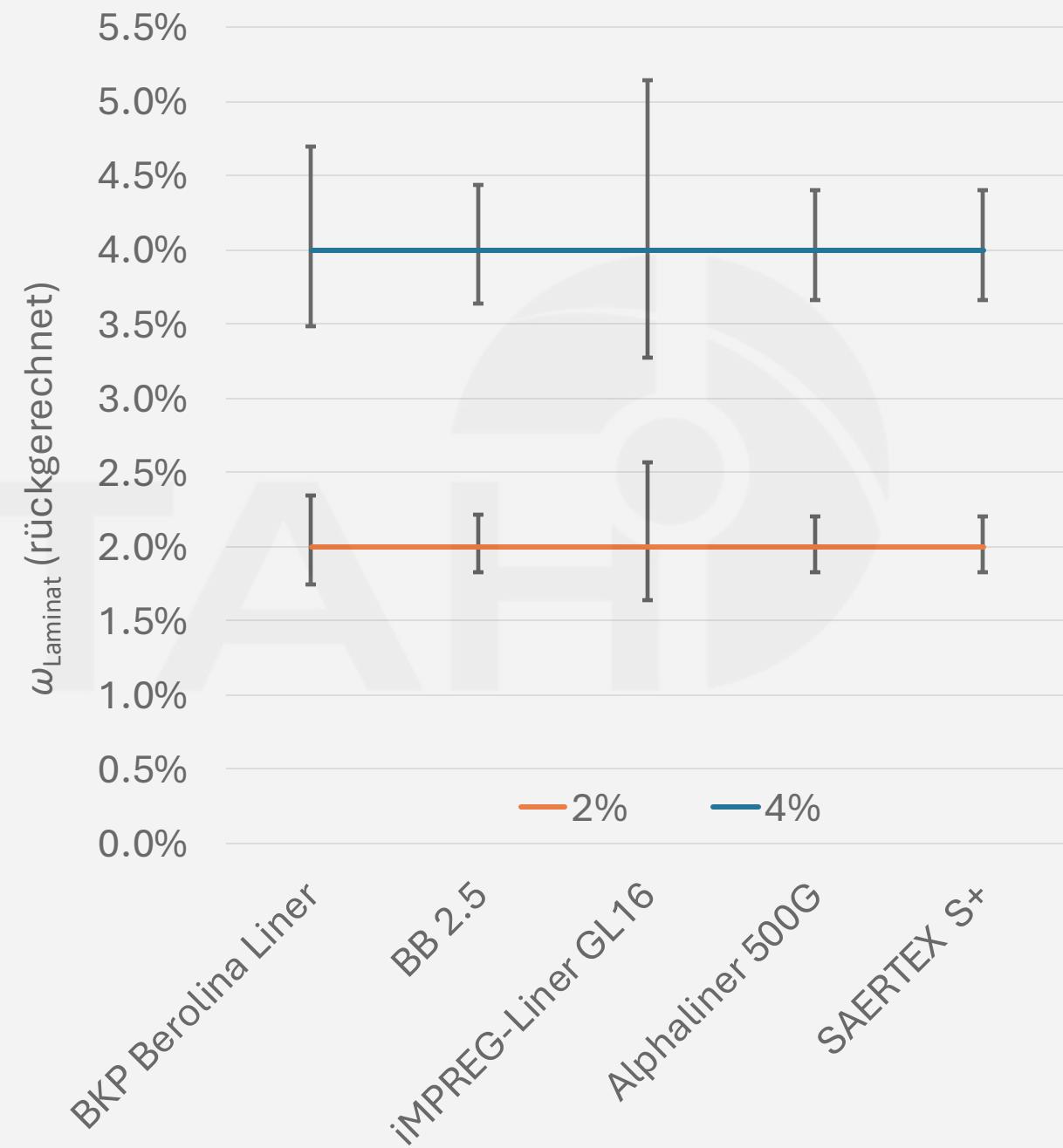
- Rückrechnung von ω_{Laminat} mit $\omega_{\text{Harz,min}}$ und $\omega_{\text{Harz,max}}$ auf zugelassenen Mittelwert für x_{Harz}

$$\omega_{\text{Laminat}} = \omega_{\text{Harz}} \cdot x_{\text{Harz}}$$

ω_{Laminat}	2%				4%			
	$\omega_{\text{Laminat,min}}$	$\omega_{\text{Laminat,max}}$	Δ		$\omega_{\text{Laminat,min}}$	$\omega_{\text{Laminat,max}}$	Δ	
BKP Berolina Liner	1,74%	2,35%	0,26%	0,35%	3,48%	4,70%	0,52%	0,70%
BB 2.5	1,82%	2,22%	0,18%	0,22%	3,64%	4,43%	0,36%	0,43%
iMPREG-Liner GL16	1,64%	2,57%	0,36%	0,57%	3,27%	5,14%	0,73%	1,14%
Alphaliner 500G	1,83%	2,20%	0,17%	0,20%	3,66%	4,41%	0,34%	0,41%
SAERTEX S+	1,83%	2,20%	0,17%	0,20%	3,66%	4,41%	0,34%	0,41%
PAA-G-Liner	2,00%	-	-	-	4,00%	-	-	-

Einfluss unterschiedlicher Harzanteile auf den Reststyrolgehalt

- Produktabhängige Schwankungsbreiten bedingt durch zugelassene Glastoleranzen.
- Minimax/Maxima zeigen den möglichen Bewertungsspielraum, welcher bei starren Grenzwerten außer Acht gelassen wird.



Zusammenfassung | Fazit

Zusammenfassung



Der initiale monomere **Styrolgehalt** ($\leq 55\%$ im eingesetzten Harz) **schwankt zwischen Produktionschargen**, was direkte Auswirkung auf das finale Ergebnis mit sich bringen kann.



Der reale Harzgehalt einer Schlauchlinerprobe bestimmt den Reststyrolgehalt. Die meist **fehlende Beachtung** führt zu einer **verzerrten Bewertungsgrundlage**.



Eine pauschale und **systemübergreifende Anforderung** an den Reststyrolgehalt kann aufgrund unterschiedlicher Glas-/Harz-Verhältnisse zu **Fehlentscheidungen** führen.

Quo vadis?

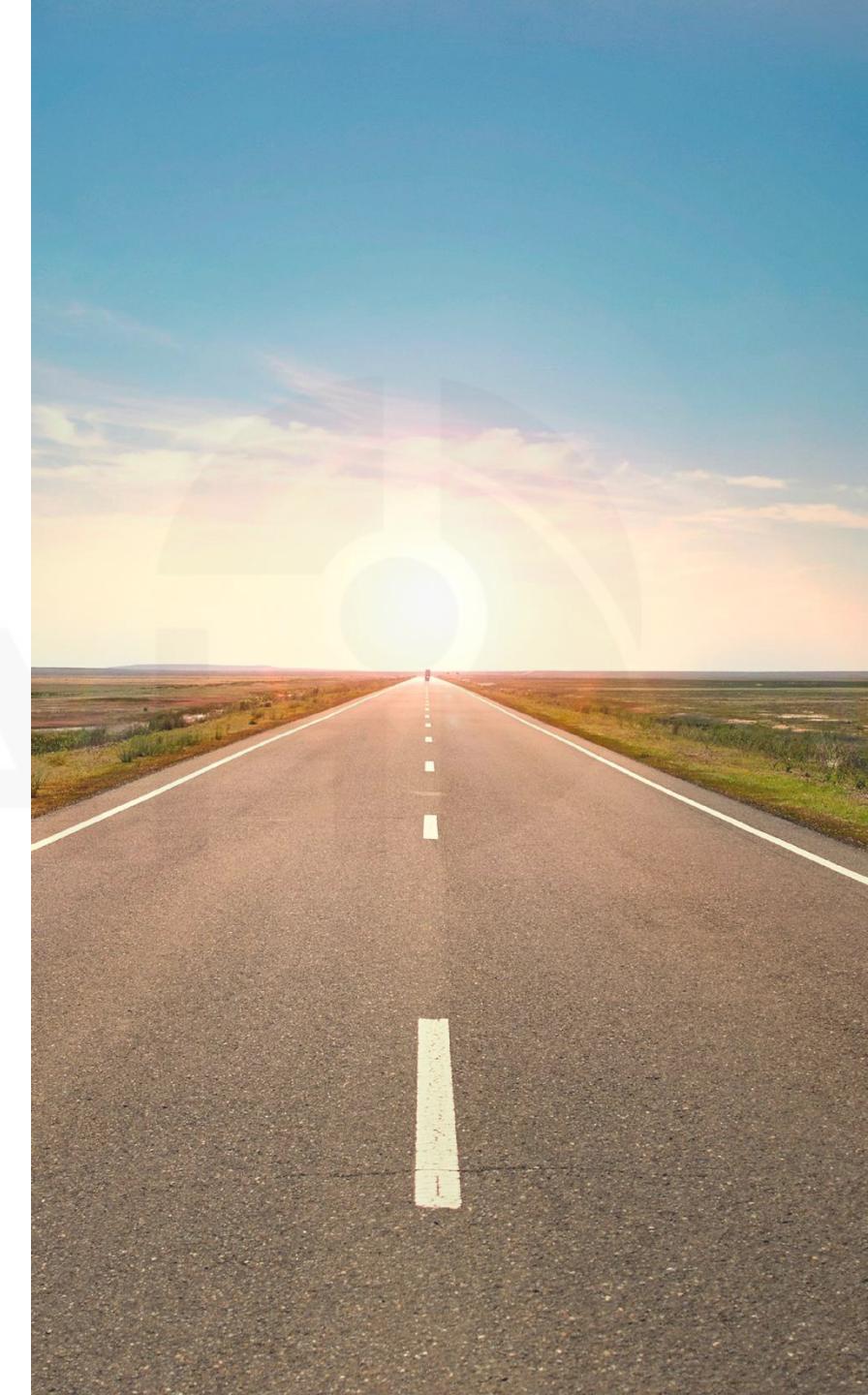
- Einbeziehen des realen Harzanteils in die Bewertung.
- Empirik zur Ermittlung harzbezogener Grenzwerte notwendig:

Bis zu welchem Anteil werden weder mechanische Kurz- und

Langzeitkennwerte, noch die Medienresistenz, negativ beeinflusst?

- Betrachtung von möglichen Umwelteinflüssen auf Grund- und Abwasser.

➤ **Es geht nicht darum QS komplexer zu gestalten – sondern präziser!**



Fazit

Qualitätssicherung vor Ort härternder Schlauchliner ist unabdingbar, jedoch

- ✓ Einzelne Prüfungen sind oftmals nur ein Puzzlestück des Ganzen.
- ✓ Normen, Arbeitsblätter, Zulassungen, etc. müssen systemspezifische und (branchen-)realistische Vorgabewerte enthalten.
- ✓ Überblick über Kennwertermittlungen und deren Auswirkungen muss behalten werden um präzise zu Beurteilen.



Literatur

- **Reststyrolgehalt in Schlauchlinerproben – auf der Suche nach dem passenden Grenzwert (Teil II)**

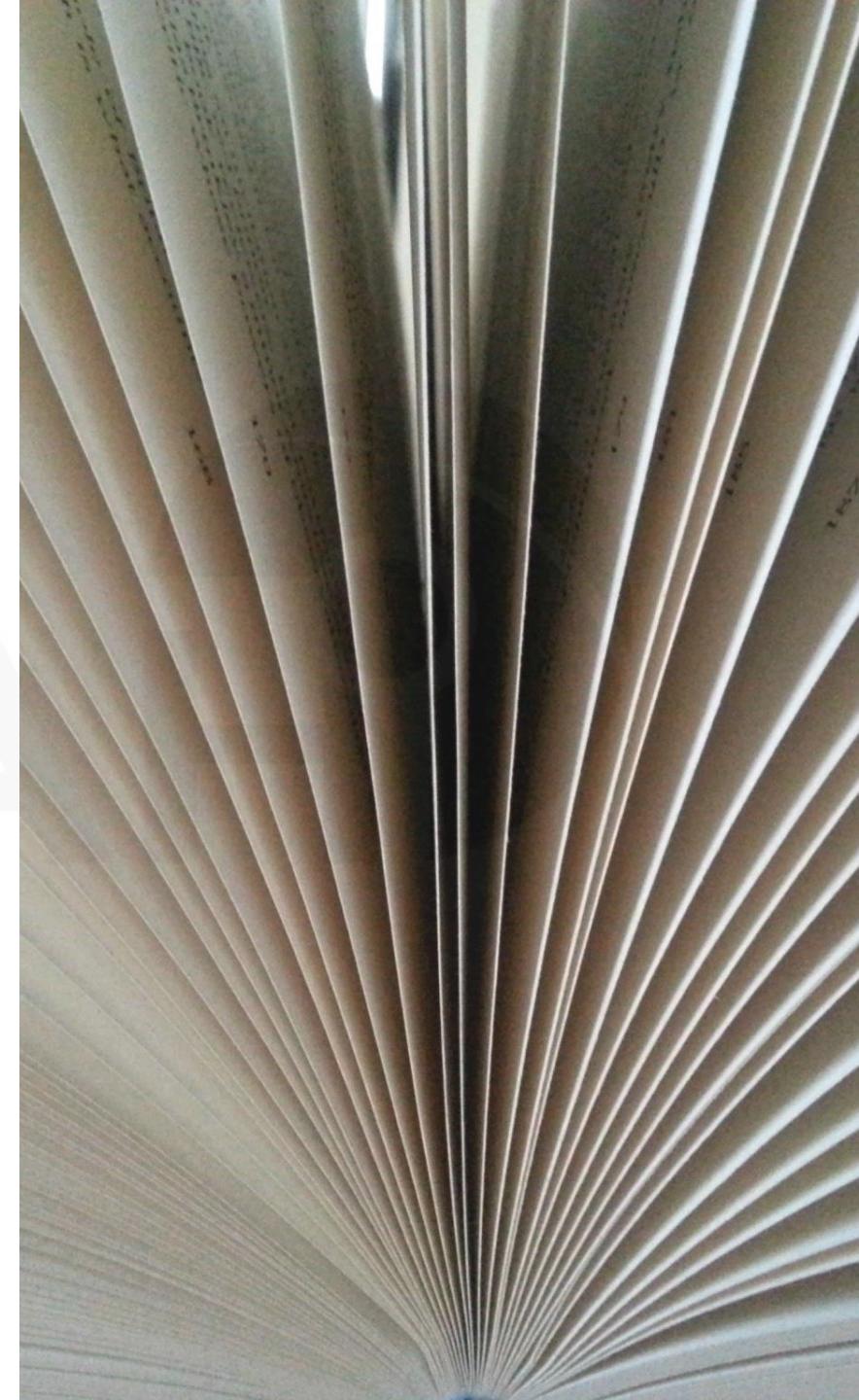
B_I | Dr.-Ing. Mark Kopietz | 09/2025

- **Reststyrolgehalt in Schlauchlinerproben – auf der Suche nach dem passenden Grenzwert**

3R | Dr.-Ing. Mark Kopietz, Dr. Michael Hoffmann | 05/2024

- **Reststyrolgehalt in Schlauchlinerproben – Messmethodik und Auswirkungen**

3R | Dr.-Ing. Mark Kopietz | 05/2023





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

SBKS GmbH

Tritschlerstr. 11

DE-66606 St. Wendel

www.sbks.de

Dr.-Ing. Mark Kopietz

 m.kopietz@sbks.de

 +49 (0)6851/80008-39

 +49 (0)151/40007421

